

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Maisner, Matthias

Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105263>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Maisner, Matthias (2017): Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 46-53.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb

Dipl.-Ing. Matthias Maisner (BAW)

1. Einleitung

Ein wichtiges Thema für die Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken ist die Instandsetzung von Bewegungsfugen. Wasserdurchtritte durch undichte Bewegungsfugen von Verkehrswasserbauwerken können im ungünstigen Fall Bodenumlagerungen verursachen und Standsicherheitsprobleme verursachen. Für die Ertüchtigung von Bewegungsfugen werden in der WSV bereits verschiedene Materialien und Verfahren eingesetzt, die in der Regel nicht unter Betrieb anwendbar sind. Hierbei handelt es sich in erster Linie um nachträglich an der schleusenkamerseitigen Wandoberfläche aufgesetzte Fugenbänder (z. B. Schleusen Uelzen 1, Leerstetten und Eibach) oder die Injektion von Bewegungsfugen mit Produkten auf der Basis von PUR und Acrylatgelen (diverse Schleusen am MDK). Die bisherigen nachträglich aufgesetzten Fugenbandkonstruktionen sind zeit- und kostenaufwändig. PUR und Acrylatgele müssen unter technischen und umweltrelevanten Aspekten kritisch hinterfragt werden. Eine Außerbetriebnahme dieser Bauwerke für eine konventionelle Fugeninstandsetzung würde eine erhebliche Beeinträchtigung des Schifffahrtsbetriebes bedeuten. Bislang gibt es nur unter Betrieb anwendbare Instandsetzungsmethoden, die Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene ausschließen. In Anbetracht der voraussichtlich weiter zunehmenden Anzahl an schadhafte Fugen wurde im Rahmen eines FuE-Vorhabens eine unter Teilbetrieb anwendbare Instandsetzungsvariante entwickelt, die auch Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene ermöglicht.



Bild 1: Auf dem Altbeton der Sohle befestigtes Klemmfugenband nachdem unter Teilbetrieb die Kammerwandfuge überbohrt wurde (Quelle: BAW)

2. Definition

Unter "Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb" werden im Rahmen des Projektes Instandsetzungs- bzw. Ersatzmaßnahmen am Massivbau von Schleusenanlagen verstanden, die bereits unter Betrieb des Bauwerkes begonnen werden können. Der Abschluss der Instandsetzungsmaßnahme kann dann ggfs. in einer Sperrpause erfolgen.

3. Bereits ausgeführte Instandsetzungsmaßnahmen

Für die Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb der Schleusenbauwerke wurden bereits verschieden Verfahren angewendet. Beispielsweise wurde die patentgeschützte Methode "Überbohren der Fuge und Einsetzen eines Elastomer-Schlauches" im Bereich der WSV erstmalig in 2007 für die vertikalen Blockfugen der Großen Seeschleuse Wilhelmshaven angewendet. Bei dieser Methode wird die Bewegungsfuge zunächst vertikal von der Plattform aus mit einem Kernbohrgerät überbohrt. Daher kann diese Methode auch unter Betrieb angewendet werden. Anschließend wird ein Elastomer-Schlauch eingezogen und mit einem schwindkompensierten Mörtel bei 8 bis 10 bar Druck verfüllt. Dadurch erfolgt eine einmalige Aufweitung des Elastomer-Schlauchs insgesamt und eine Kompression des Elastomers. Im Falle einer Fugenaufweitung erfolgt die Dichtwirkung des Dichtelementes ausschließlich aus der Elastizität und dem Dehnvermögen des Schlauches. Die beidseitige Wandungskompression muss die eintretende Fugenbewegung kompensieren. Bei der Wahl der Wandungsdicke des Elastomer-Schlauches und des erforderlichen Einpressdruckes des Mörtels müssen die zu erwartenden Fugenbewegungen berücksichtigt werden. Der Einbauzeitpunkt, im Winter stellt sich im Regelfall die größte und im Sommer die kleinste Fugenweite ein, ist ebenfalls ein zu berücksichtigender Parameter. Das nachfolgende Bild 2 zeigt das Funktionsprinzip dieser Instandsetzungsvariante.

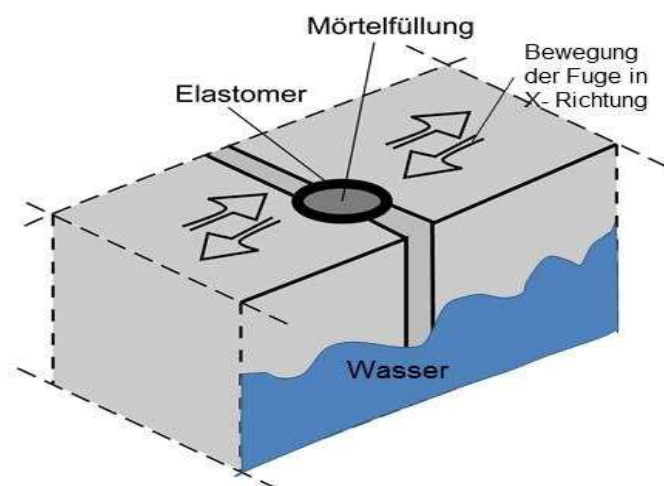


Bild 2: Funktionsprinzip "Überbohren der Fuge und mörtelgefüllter Elastomer-Schlauch(Quelle: BAW)

Das Verfahren kann unter Betrieb und Teilbetrieb einer Schleuse eingesetzt werden. Hinsichtlich der Anwendungsgrenzen sind jedoch die folgenden Einschränkungen zu berücksichtigen:

- keine Richtungsänderung in der Abdichtungsebene möglich
- keine kraftschlüssige Endlosverbindung für z. B. Umlaufkanäle möglich

- in der WSV bislang nur für vertikale Fugen eingesetzt
- nicht für große Fugenweitenänderungen geeignet
- keine langen Schlauchlängen verfügbar

Das nachfolgende Bild 3 zeigt Fugenverläufe für die die obige Methode nicht eingesetzt werden kann.

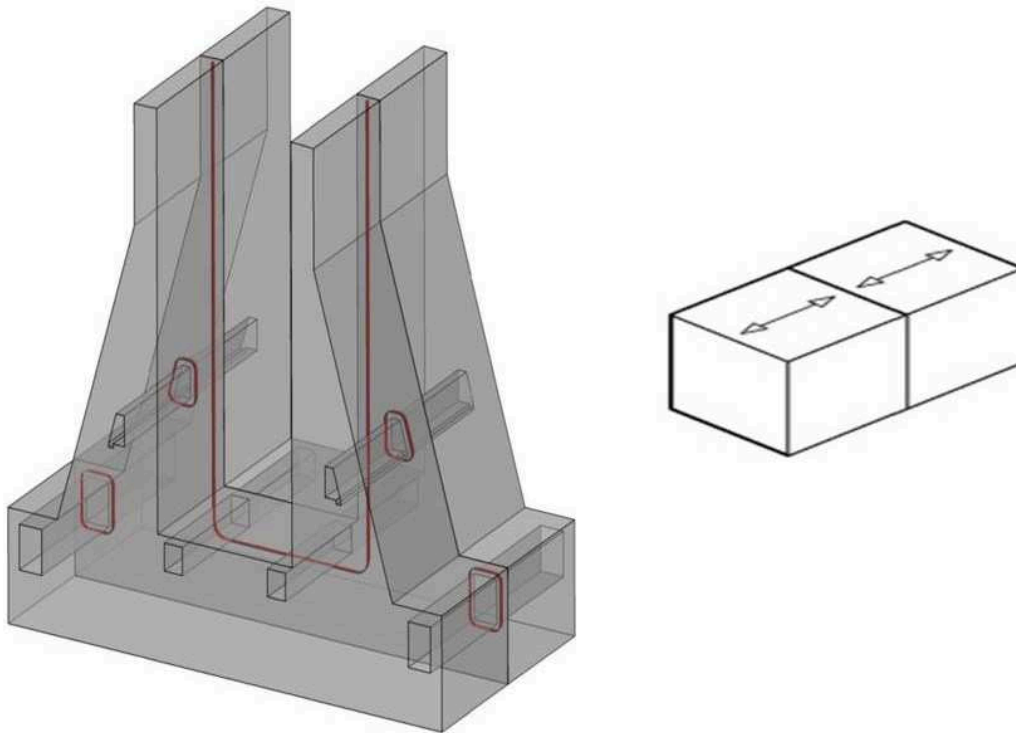


Bild 3: Schleusenquerschnitt mit rot gekennzeichneten Bewegungsfugenverlauf und Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene (links) und temperaturbedingte Bewegung der Kammerblöcke in Richtung der Schleusenachse (rechts) (Quelle: BAW)

Das Abdichten undichter Bewegungsfugen mit Kompressionsdichtungen aus Elastomer erfordert saubere, ebene und glatte Fugenflanken. Für diese Vorarbeiten ist eine Trockenlegung mit einem Zeitfenster von 12 h erforderlich. In dieser Zeit darf an der Fuge kein rückseitiger Wasserdruck anstehen. Die Dichtwirkung erfolgt über die Rückstellkraft des Elastomers. Zu unterscheiden sind handelsübliche Hohlkammerprofile, Vollgummi und wasserquellfähige Elastomere. Das Einbringen erfolgt über maschinelles oder manuelles Eindrücken in die Bewegungsfuge. Bei der Anordnung von Abdeckblechen als Widerlager ist ein geringer Eingriff in den Altbeton erforderlich. Polymerinjektionen erfordern zugängliche Fugenbereiche und können ebenfalls in einem Zeitfenster von 12 h ausgeführt werden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass eine Erhärtung bei drückendem und strömendem Wasser in der Regel nicht möglich ist. Dauerhaft wirksame Fugeninstandsetzungen mit Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene erfolgten in der WSV bislang meist mit geklemmten gewebeverstärkten elastomeren Fugenbändern im Rahmen von zweiwöchigen Trockenlegungen. Eine Variante dieser Dichtelemente sind die sogenannten Omega-Fugenbänder, die aufgrund ihrer Schlaufenform auch Abdichtungen bei großen Fugenbewegungen ermöglichen. Um Verbindungen und Übergänge herstellen zu können, ist die Gewebeverstärkung in der Regel hier zweilagig. Bei einer Richtungsänderung in der

Abdichtungsebene ist bei derartigen Dichtungsbändern eine aufwendige Flanschkonstruktion erforderlich. Daher sollte im Rahmen dieses FuE-Vorhabens eine Alternative für die Fugeninstandsetzung von Massivbauwerken im Verkehrswasserbau entwickelt werden, die eine einfachere Flanschkonstruktion erfordert und unter Teilbetrieb begonnen werden kann. In der Automobilindustrie werden stahlseilbewehrte Hubgurte z. B. für den horizontalen und vertikalen Transport von Pkw-Karosserien eingesetzt. Für die Untersuchungen wurde aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen das als Lagerware verfügbare Produkt mit der größten Querschnittsfläche nach dem Datenblatt des Herstellers gewählt. Das nachfolgende Bild 4 zeigt den Querschnitt des als Stahlseilbewehrtes Klemmfugenband (SBK) gewählten dicken Hubgurts. Der Zugträger aus Stahlseilen mit einem Durchmesser von 2,75 mm verläuft in der Fugenachse. Im Bereich des Fugenspaltes verlaufen keine Stahlseile.

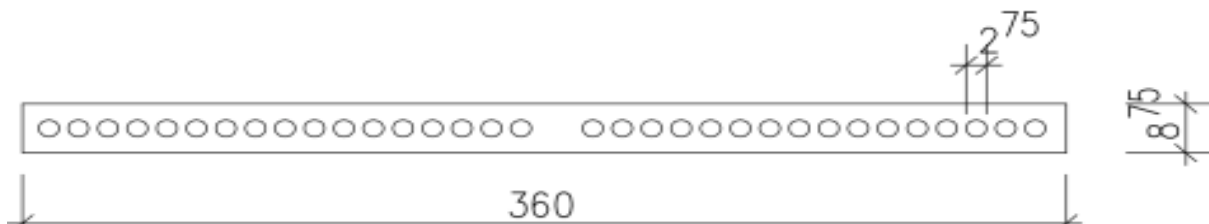


Bild 4: Querschnitt des gewählten Hubgurtes (Stahlseilbewehrtes Klemmfugenband, SBK)
(Quelle: BAW)

Das in Bild 4 dargestellte SBK hat eine Breite von 360 mm, eine Masse von 5,1 kg/ lfd. m und laut Hersteller einen Biegeradius von nur 50 mm. Um die Retardation (Kriechen) und die Relaxation des Fugenbandwerkstoffes zu kompensieren werden Konstruktionen mit einer dauerhaft spannungshaltenden Klemmung benötigt. Im Winterhalbjahr vergrößert sich der Fugenspalt aufgrund der reduzierten Wärmedehnung des Betons. Mit der Fugenaufweitung ist auch eine Zugbewegung des Elastomer-Fugenbandes verbunden. Elastomere sind als inkompressible Flüssigkeiten zu betrachten, bei Zug verjüngt sich der Querschnitt durch Querkontraktion dargestellt.

Für Elastomere gilt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik nach Rudolf Clausius, wonach die Entropie als Maß für die Unordnung in einem abgeschlossenem System nicht abnimmt ($dS \geq 0$). Aufgrund der sog. Entropieelastizität der Elastomere gilt kein Hookesches Gesetz. Die aus dem Stahlbau bekannten Zusammenhänge für Schraubverbindungen und erforderliche Drehmomente sind daher nicht anwendbar. Das spezielle Materialverhalten des Elastomers muss durch ein technisches Bauteil kompensiert werden, das sich im praktischen Gebrauch dauerhaft elastisch verformen lässt. Metallische Federn können in Kombination mit dem Federelement aus Elastomer eine dauerhafte Klemmung bewirken. Um den Eingriff in den Bestandsbeton im Falle einer Fugeninstandsetzung zu minimieren, müssen Federn mit einem geringen Raumbedarf verwendet werden. Tellerfedern nach DIN 2093 (2006) haben die Form eines flachen Kegelstumpfes und können bis zu einer flachen Scheibe verformt werden. Sie sind sehr kompakt und haben eine hohe Federkraft bei kleinem Federweg. Durch das wechselsinnige Aufeinanderschichten (Reihenschaltung) von Tellerfedern wird der Federweg vergrößert. Bild 5 zeigt beispielhaft eine Federkennlinie für ein Elastomer-Klemmfugenband. Im Druckversuch wurde zunächst eine maximale Federkraft von 21,2 kN bestimmt. Im Anschluss wurde der Abfall der Federkraft ($F=f(t)$) über einen Zeitraum von 28 h gemessen. Danach muss die nach DIN 2093 (2006) zu wählende Tellerfeder eine Kraft von $21,2 \text{ kN} - 9,6 \text{ kN} = 11,6 \text{ kN}$ aufnehmen.

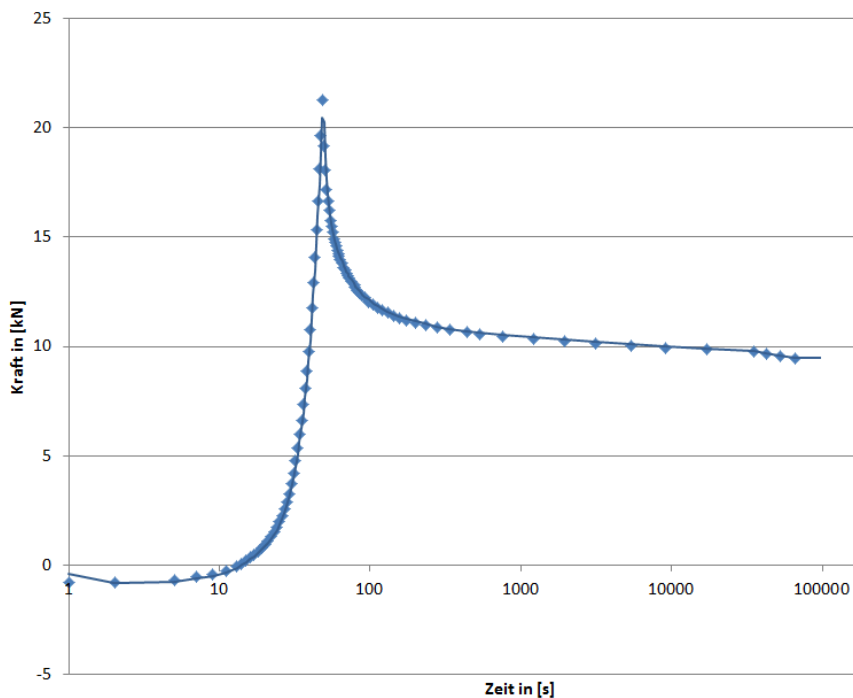


Bild 5: Beispiel für die Federkennlinie eines Elastomer-Klemmfugenbandes (Quelle: BAW)

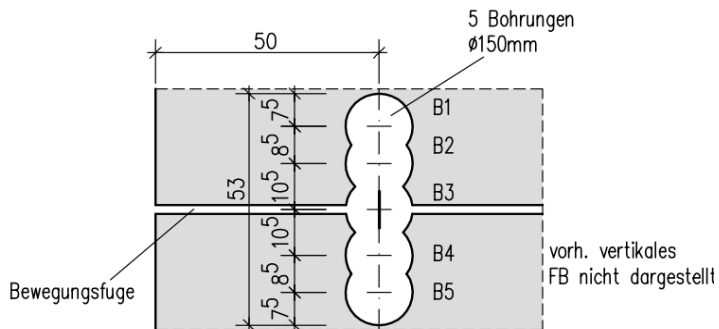
Das nachfolgende Bild 6 zeigt einen Auszug aus der Tabelle 1 der DIN 2093 (2006).

Gruppe	D_e		t bzw. $(t')^a$	h_0	l_0		l_t	σ_{III}^b	σ_{OM}
	h12								$s = h_0$
1	8		0,4	0,2	0,6		0,45	1218	-1605
	10		0,5	0,25	0,75		0,56	1218	-1595
	12,5		0,7	0,3	1		0,77	1382	-1666
	14		0,8	0,3	1,1		0,87	1308	-1551
	16		0,9	0,35	1,25		0,99	1301	-1555
	18		1	0,4	1,4		1,1	1295	-1558
	20		1,1	0,45	1,55		1,21	1290	-1560
	22,5		1,25	0,5	1,75		1,37	1296	-1534
	25		1,5	0,55	2,05		1,64	1419	-1562
	28		1,5	0,65	2,15		1,66	1274	-1562
2	31,5		1,75	0,7	2,45		1,92	1296	-1570
	35,5		2	0,8	2,8		2,2	1332	-1611
	40		2,25	0,9	3,15		2,47	1328	-1595
	45		2,5	1	3,5		2,75	1296	-1534

Bild 6: Auszug aus der Tabelle 1 der DIN 2093 (2006) für die Abmessungen von Tellerfedern der Reihe A (Quelle: DIN 2093)

Für die in Bild 9 dargestellte Klemmkonstruktion ergibt sich aus der Ankerbemessung ein Bolzendurchmesser, der den Innendurchmesser der Tellerfeder mit $D_i = 25,4$ mm festlegt. Die Tellerfeder mit einem Außendurchmesser von 50 mm und einem Innendurchmesser von 25,4 mm kann eine Federkraft F_t von 11976 N bei einer Kraft von 75% des Federweges ($s = 0,75 \times h_0$) aufnehmen. Wäre diese Kraft kleiner als die empirisch aus Bild 5 abgeleitet erforderliche Kraft (11976 N > 12,6 kN) sind zwei Federn in gleichsinniger Anordnung nötig, um die Kraft zu addieren ($2 \times 11976 \text{ N} = 23952 \text{ N}, \approx 24 \text{ kN} >$

12,6 kN). Das zweite Pilotprojekt in der Doppelschleuse Kleinostheim wurde im Frühjahr 2016 ausgeführt. Hierbei handelt es sich um die zuvor im Modell erprobte und für eine Instandsetzung unter Teilbetrieb geeignete Variante „Kombination SKB und Überbohren der Fuge“. Das Prinzip "Überbohren der Fuge" ist aus Bild 7 zu ersehen.



Reihenfolge der Bohrungen:

- 1.) B3
- 2.) B2 , B4
- 3.) B1 , B5

Bild 7: Prinzip "Überbohren der Fuge", Draufsicht von der Schleusenplattform (Quelle: BAW)

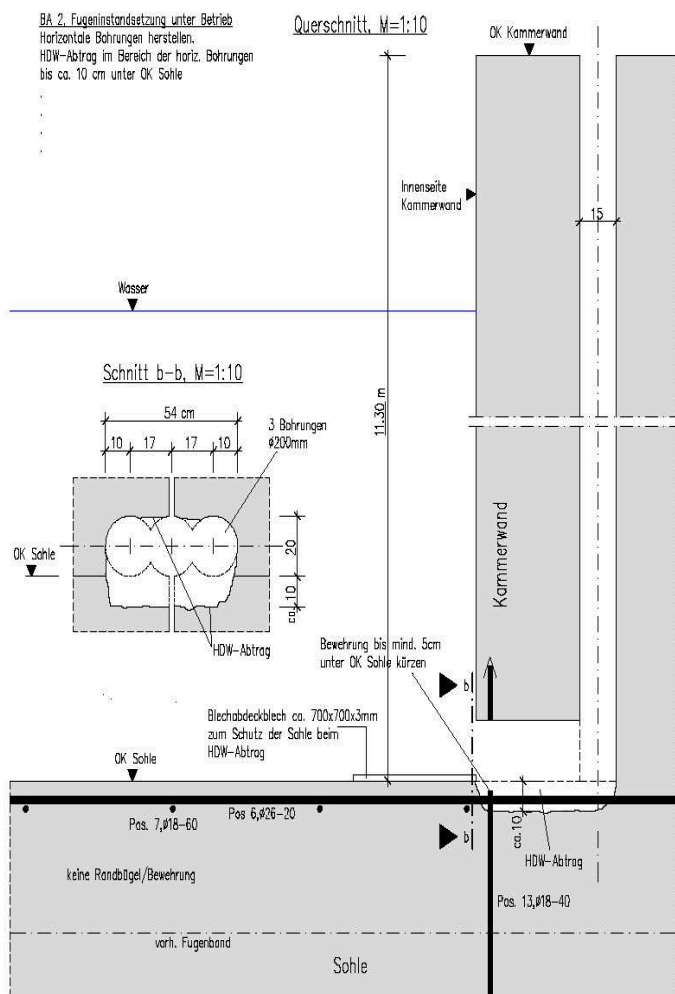


Bild 8: Überbohren der Fuge, Ausführungsdetail Richtungsänderung in der Abdichtungsebene (Quelle: BAW)

Aus Bild 9 sind Details der Verschraubung der Klemmkonstruktion zu sehen. Zwischen den Ankern und dem SBK wurde ein bei Wasserkontakt quellfähiger Dichtstoff aus PUR vorgesehen.

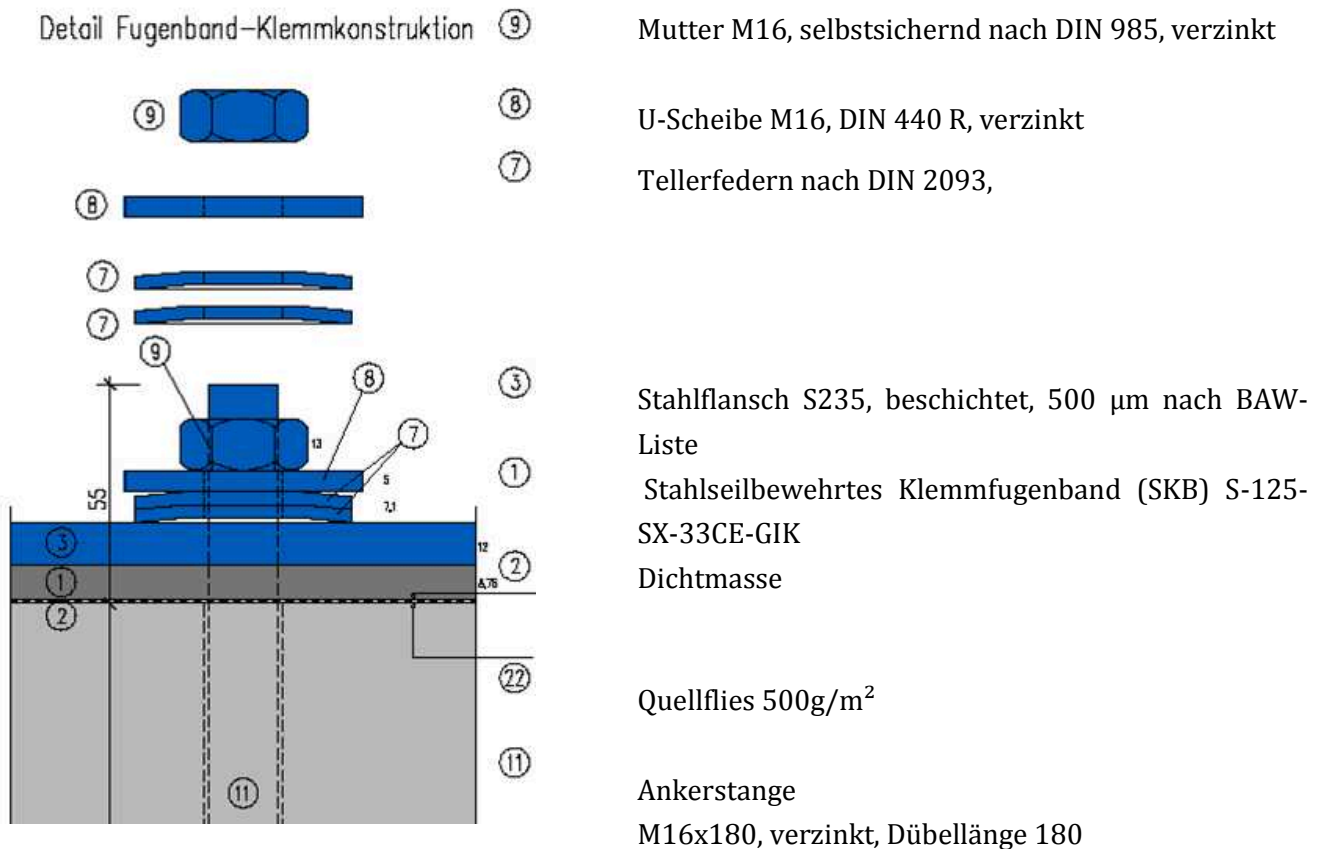


Bild 9: Details der Fugenband-Klemmkonstruktion mit Tellerfedern (Quelle: BAW)

Für das Überbohren der Fuge mit den 5 aneinandergereihten und überschrittenen vertikalen Bohrungen wurde ein Bohrgerät mit Einfachkernrohr, Durchmesser 150 mm, auf der Schleusenplattform montiert. Von der trockengelegten Sohle aus wurden drei Horizontalbohrungen mit einem Durchmesser ausgeführt.

Für den Einbau wurde das SBK wie aus Bild 10 (links) zu sehen auf eine Haspel aufgewickelt und auf der Plattform über dem überbohrten Fugenspalt fixiert. Das SBK wurde auf jeder Kammerwandseite von der vertikalen Öffnung abgelassen und durch die Horizontalöffnung gezogen und später durch Vulkanisation verbunden. Hierzu war eine Trockenlegung der Schleuse erforderlich. In der horizontalen Öffnung wurde das SBK mit einer Fugenfüllplatte aus Styrodur in der Lage fixiert. Das Verfüllen der Bohrlöcher erfolgte von der horizontalen Öffnung oberhalb der Sohle aufwärts mit zwei Pumpen, um ein gleichmäßiges Aufsteigen des Vergussstoffes sicher zu stellen. Um ein Durchlaufen des Vergussmörtels in den Fugenspalt zu verhindern, wurde das SBK mit einem Fugenfüllmaterial abgestellt. Es wurde ein hochfließfähiger Vergussmörtel für den vertikalen Einbau des SBK gewählt.



Bild 10: Einbau des SBK von der Plattform (links); Lagesicherung nach der Abwicklung im Dichtteil (Quelle: BAW)

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die wesentlichen Aspekte und Erkenntnisse für das BAW/WSV-Projekts „Instandsetzung unter Betrieb“ können wie folgt zusammengefasst werden:

Fugendichtelemente in Bewegungsfugen von Verkehrswasserbauwerken müssen im Extremfall Wasserdruckdifferenzen bis etwa 46 m widerstehen. Gleichzeitig sollten sie in der Lage sein, Verformungen auch über planmäßige Nutzungsdauern von 100 Jahren hinweg sicher aufzunehmen. Aus heutiger Sicht wurden für eine langfristige Nutzung oftmals ungeeignete Materialien verwendet und es wurden fallweise Wasserdurchtritte festgestellt. Im ungünstigen Fall können solche Wasserdurchtritte zu Bodenumlagerungen und daraus resultierenden Standsicherheitsproblemen für einzelne Bauteile bzw. die gesamte Anlage führen. Für die Zukunft ist insbesondere vor dem Hintergrund unzureichender Materialeigenschaften der Fugendichtelemente mit einem Zuwachs derartiger Probleme zu rechnen. Der genaue Ort von Undichtigkeiten bzw. Fehlstellen ist oftmals nicht genau zu bestimmen. Daher ist eine gezielte lokale Schadensbeseitigung kaum möglich. Für Fugeninstandsetzungen unter Betrieb/Teilbetrieb stehen keine universal einsetzbaren Methoden zur Verfügung. Die Methoden unterscheiden sich hinsichtlich der erforderlichen Zeitfenster. Im Vorfeld einer Maßnahme müssen daher alle Randbedingungen evaluiert werden.

Literatur

DIN 2093 (2013), Tellerfedern, Qualitätsanforderungen, Maße, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2013-02